

## Vesiväylien linjalaskennan perusteet





# Vesiväylien linjalaskennan perusteet

Liikenneviraston oppaita 2/2013

*Kannen kuva: Jouko Ahde*

Verkkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6591

ISSN 1798-6605

ISBN 978-952-255-238-9

Liikennevirasto

PL 3

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373



Väylätekniikka / Ohjaus- ja turvalaitteet

Korvaa/muuttaa

Merenkululaitos. Bäckström Rolf. 30.11.1998. Linjalaskennan perusteet.

Voimassa

1.2.2013 alkaen

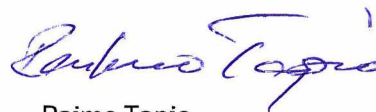
Asiasanat:

vesiväylä, turvalaite, linjataulu, linjamerkki, linjaloisto, mitoitus, linjalaskenta

## Vesiväylien linjalaskennan perusteet

Liikennevirasto on hyväksynyt käyttöön oppaan Vesiväylien linjalaskennan perusteet.

Yljohtaja



Raimo Tapio

Tekninen johtaja



Markku Nummelin

### LISÄTIETOJA

Sami Lasma

Liikennevirasto

020 637 373

## Esipuhe

Vesiväylien linjalaskennan perusteet on tarkoitettu hyödynnettäväksi vesiväylien turvalaitteina toimivien linjamerkkien suunnittelussa ja mitoituksessa.

Tämä opas on päivitetty versio Rolf Bäckströmin laatimasta oppaasta "Linjalaskennan perusteet" (Merenkululaitos, 30.11.1998). Päivityksen on tehnyt Sami Lasma Liikenneviraston väylätekniikkaosastolta.

Oppaassa esitetään lyhyesti linjamerkkien mastojen, taulujen, valojen ja heijastimien mitoitus. Muuttujia on paljon ja arvojen optimointi sen verran työläs tehtävä, ettei sitä suositella tehtäväksi kuin tietokoneen avulla.

Opas käsittelee linjamerkkien mitoitusta vain visuaalisina turvalaitteina toimimisen näkökulmasta. Oppaassa ei käsitellä merkkien rakentamista, vaihtoehtoisia rakenneratkaisuja eikä rakenteiden mitoitusta.

Linja pystytään harvoin suunnittelemaan pelkästään navigoinnin ehdoilla, sillä vesiväylän ominaisuudet, merkkien rajalliset pystytyspaikat, maaston ominaisuudet, rakennuskustannukset ym. asettavat omat rajoitteensa. Laskentamenetelmiä tuleekin pitää vain suuntaa-antavina. Suunnittelijalla on hyvä olla käytännön navigointikoke-  
musta linjan toimivuuden arvioimiseksi ja toimivan kompromissin löytämiseksi.

Helsingissä tammikuussa 2013

Liikennevirasto

Väylätekniikkaosasto / Ohjaus- ja turvalaitteet

# Sisällysluettelo

TUNNUKSET JA YKSIKÖT .....	6
1 LÄHTÖPARAMETRIT .....	7
1.1 Maastotiedot linjamerkkien ympärillä .....	7
2 LASKENTAPERUSTEET .....	9
2.1 Katselukorkeus .....	9
2.2 Taulujen mitat .....	9
2.3 Valot .....	10
2.3.1 Yö-valot .....	10
2.3.2 Päiväloistot .....	11
2.4 Heijastimet .....	12
2.5 Minimipystykulman määrittäminen .....	13
2.6 Muita lähtöarvoja ja reunaehtoja .....	14
2.7 Kulmien ja korkeuksien laskeminen .....	15
2.8 Lopullinen optimointi .....	15
3 TARKISTUSLASKENTA .....	17
4 RAKENTAJAN TARVITSEMAT TIEDOT .....	19
5 TIETOKONELASKENTA .....	20
KIRJALLISUUS .....	21

## Tunnukset ja yksiköt

Tunnus	Selite	Yksikkö
A	heijastimen pinta-ala	m <sup>2</sup>
d	havaintoetäisyys	m
d <sub>1</sub>	havaintoetäisyys lähimpään kohteeseen	m
d <sub>2</sub>	etäisyys kohteiden välillä	m
d <sub>K</sub>	kaukoetäisyys	m
d <sub>L</sub>	lähietäisyys	m
d <sub>R</sub>	merkkien välinen etäisyys	m
d <sub>Y</sub>	etäisyys alemmasta merkistä vaarallisimpaan kariin, "karietäisyys"	m
E	kynnysvalaistusvoimakkuus	lx
E <sup>+</sup>	suurempi arvo E <sub>1</sub> tai E <sub>2</sub> :stä	lx
E <sub>1</sub>	alemmman loiston valaistusvoimakkuus kaukopisteessä	lx
E <sub>2</sub>	ylemmän loiston valaistusvoimakkuus kaukopisteessä	lx
H	kohteen korkeus	m
H <sub>1</sub>	lähimmän kohteen korkeus	m
H <sub>2</sub>	etäisemmän kohteen korkeus	m
H <sub>K</sub>	katselukorkeus	m
I <sub>e</sub>	tehollinen valovoima	cd
k	taulun korkeus	m
K	K-arvo	
l	taulun leveys	m
MA	alemmman merkin rakennuspaikan korkeus merenpinnasta	m
MY	ylemmän merkin rakennuspaikan korkeus merenpinnasta	m
R	heijastimen ominaisheijastusarvo	lx/m <sup>2</sup> /cd
S	turvaetäisyys	m
v <sub>1</sub> , v <sub>2</sub>	taulun mittojen laskentaan liittyviä vakioita	
Y	sivuetäisyys väylän keskiviivasta vaarallisimpaan kariin	m
γ	pystykulma	rad
γ <sub>H</sub>	pystykulma alataulun alareunan ja horisontin välillä kaukopisteestä katsottuna	rad
γ <sub>K</sub>	valojen välinen pystykulma kaukopisteestä katsottuna	rad
γ <sub>L</sub>	valojen välinen pystykulma lähipisteestä katsottuna	rad
γ <sub>m</sub>	minimipystykulma	rad
γ <sub>PK</sub>	alataulun yläreunan ja ylätaulun alareunan välinen pystykulma kaukopisteestä katsottuna	rad
γ <sub>PL</sub>	alataulun yläreunan ja ylätaulun sen kohdan, joka on 3 m tai 66 % yläreunasta (pienempi arvo valitaan), välinen pystykulma lähipisteestä katsottuna	rad
γ <sub>Y</sub>	valojen pystykulma vaarallisimman karin kohdalla	rad
Θ <sub>D</sub> , Θ <sub>1</sub> , Θ <sub>2</sub>	turvakulma	rad

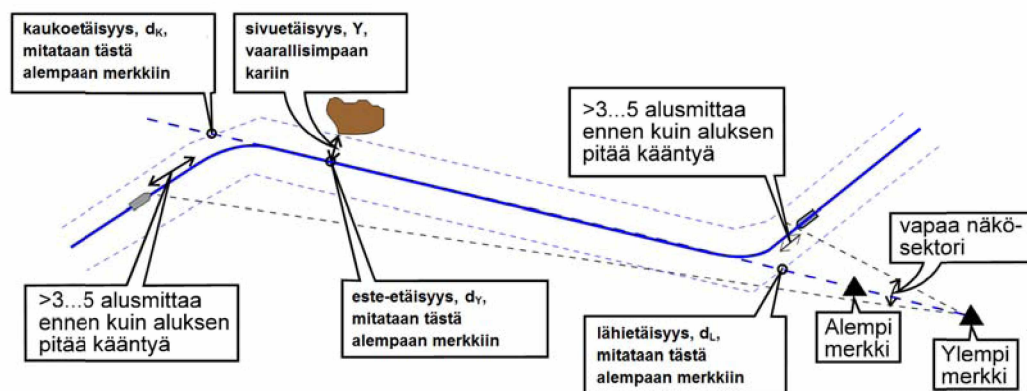
# 1 Lähtöparametrit

Linjamerkinnän suunnittelu aloitetaan selvittämällä linjan lähtöparametrit, joista suurin osa saadaan väyläsuunnittelukartasta. Lisätietoa saadaan topografisista kartoista ja maastotutkimuksista. Aluksi määritetään seuraavat perustiedot (kuva 1:1):

- Etäisyys väylän etäisimmän havaintopisteen ja alemman merkin välillä, ns. kaukoetäisyys ( $d_K$ ). Etäisyys mitataan edellisen väyläosan etäisimmästä laidasta.
- Etäisyys väylän lähimmän havaintopisteen ja alemman merkin välillä, ns. lähietäisyys ( $d_L$ ). Etäisyys mitataan edellisen väyläosan lähimmästä laidasta.
- Etäisyys vaarallisimman karin ja alemman merkin välillä, ns. karietäisyys ( $d_V$ ).
- Etäisyys vaarallisimman karin ja väylän keskiviivan välillä, ns. sivuetäisyys ( $Y$ ).

Vaarallisin kari on se, jossa vaakakulma karin ja väylän keskiviivan välillä alemmalta merkiltä katsottuna on pienin. Usein tarkastellaan varmuuden vuoksi useita eri kareja.

- Merkkien rakennuspaikkojen korkeudet merenpinnasta ( $MA$ ,  $MY$ )



Kuva 1:1 Väyläsuunnitelma

## 1.1 Maastotiedot linjamerkkien ympärillä

Maastoa tutkitaan sektorilta, joka muodostuu kun ajatellaan, että alukselta taulut on nähtävä vähintään 3 ja mieluiten 5 laivanpituutta ennen käännöksen aloittamista laivan lähestyessä linjan muodostamaa väyläosaa (kuva 1:1). Maastotutkimuksen tavoitteena on saada riittävät tiedot suunnittelua ja rakentamista varten heti ensimmäisellä kerralla. On silti tärkeää tutkia vain olennaiset asiat, jottei tutkimus paisu kohtuuttomasti. Maastotutkimuksen suorittajalla tulisi olla jonkin verran kokemusta linjalaskennasta, jotta tarvittava kokonaisnäkemys syntyisi.

Merkin rakennuspaikkaa määritettäessä ensisijaisia ovat paikat, joissa rakentaminen on kokonaiskustannuksiltaan edullisinta (korkea maastokohta, kova maa, jne.). Samalla on kuitenkin huomioitava huoltoreitti sekä ympäröivän maaston vaikutus rakenteiden rakentamiskorkeuteen. Pyritään ratkaisuun, jossa ympäröivää kasvillisuutta tarvitsee raivata tai hakata mahdollisimman vähän rakennusaikana ja sen jälkeen.

Huoltoreitti on hyvä suunnitella sellaiseksi, että veneellä pääsee rantautumaan kuivin jaloin ja että kävelymatka maissa on mahdollisimman lyhyt ja helppokulkuinen.

Ympäröivän maaston korkeudet (ml. metsän) tutkitaan, pitäen mielessä, että kummankin linjataulun halutaan näkyvän kokonaan etu- ja välimaaston yläpuolella sekä kauko- että lähipisteessä. Edelleen takataulu halutaan nähdä niin, että siitä on näkyvissä vähintään puolet takana olevan metsän tai maaston yläpuolella, kaukopisteestä katsottuna. Suunnittelua helpottaa, jos maastotutkimuksella voidaan tuottaa maaston leikkausprofiileja, johon merkkien rakentamispaidat on merkitty (kuvat 3:1 ja 3:2).

Maastotietoihin kerätään myös tiedot metsän tiheydestä ja tyypistä, esim. onko kysymyksessä arvometsä. Pääsääntöisesti merkit pyritään sijoittamaan muualle kuin talojen tai kesämökkien pihapiiriin tai rantaan ja joka tapauksessa niin, että mahdolliset korvaukset minimoituvat.



## 2 Laskentaperusteet

Seuraavassa esitetään linjalaskennan perusteita lyhyesti. Muuttujia on paljon ja arvojen optimointi sen verran työläs tehtävä, ettei sitä suositella tehtäväksi kuin tietokoneen avulla.

### 2.1 Katselukorkeus

Katselukorkeutena käytetään tavallisesti arvoa 5 m kauppamerenkulun meriväylillä ja arvoa 2 m sisävesiväylillä ja veneväylillä. Mikäli väylää käyttävät sekä kauppamerenkulku että poikkeuksellisen vilkas veneliikenne, joka ei voi käyttää vaihtoehtoisia väyliä, on katselukorkeuden valinnassa käytettävä harkintaa. On pidettävä mielessä, että alempi katselukorkeus merkitsee yleensä korkeampia rakentamiskustannuksia.

Jos tiedetään tarkkaan linjaa käyttävien alusten katselukorkeudet, voidaan käyttää tapauskohtaisesti räätälöityä arvoa. Tällöin valitaan yleensä alin löydetty katselukorkeus.

### 2.2 Taulujen mitat

Taulujen mitat saadaan seuraavista yhtälöistä:

$$k = d \times 0,00052 + v_1 \quad (2.2:1)$$

$$l = d \times 0,0004 + v_2 \quad (2.2:2)$$

joissa

$k$  = taulun korkeus (m)

$l$  = taulun leveys (m)

$d$  = havaintoetäisyys (m)

$v_1, v_2$  = vakioita

Havaintoetäisyydet:

- Alempi merkki:  $d$  = kaukoetäisyys ( $d_K$ )
- Ylempi merkki:  $d$  = kaukoetäisyys ( $d_K$ ) + merkkien välinen etäisyys ( $d_R$ )

Vakioiden arvot:

- Kauppamerenkulun väylät merialueilla:  $v_1 = 1,9$  ja  $v_2 = 1,4$
- Sisävesi- ja veneväylät:  $v_1 = 1,3$  ja  $v_2 = 0,9$

Merialueiden kauppamerenkulun väylillä minimitalun mitat ovat  $k \times l = 4,5 \times 3,0 \text{ m}^2$  ja sisävesillä sekä veneväylillä  $1,5 \times 1,0 \text{ m}^2$ . Ylätaulu voi eräissä tapauksissa olla korkeudeltaan huomattavasti suurempikin. Taulun käytännöllinen maksimipinta-ala on n.  $100 \text{ m}^2$ .

Taulu muodostuu kolmesta yhtä leveästä pystykaistasta joista keskimäinen kaista on valkoinen tai keltainen ja laitakaistat punaisia tai päinvastoin.

## 2.3 Valot

Loistoluetteloissa ilmoitut valojen kantamat ovat nimellisiä kantomatkoja. Linjalouiston nimellinen kantomatkä on etäisyys, jolta valo tuottaa havaitsijan silmään kynnysvalaistusvoimakkuuden E:

- $1 \times 10^{-6}$  lx (yö-valot)
- $1 \times 10^{-3}$  lx (päiväloistot)

Nimellisen kantomatkan laskennassa käytetään valolaitteen tehollista valovoimaa, joka saadaan huomioimalla valotunnuksen ja valoa suodattavien tekijöiden (värilasit, ulkolasit) aiheuttama valovoiman pieneneminen sekä mahdollisen huoltokertoimen vaikutus. Lisäksi oletetaan, että ilmatieteellinen näkyvyys on 10 M, eli 18520 m. Tässä oppaassa ei käsitellä tehollisen valovoiman määrittämistä.

Valojen tehollinen valovoima saadaan yhtälöstä:

$$I_e = \frac{d^2 E}{0,0518520} \quad (2.3:1)$$

Kynnysvalaistusvoimakkuuden suhteen ratkaistussa muodossa:

$$E = \frac{I_e \times 0,0518520}{d^2} \quad (2.3:2)$$

joissa

$I_e$  = tehollinen valovoima (cd).

d = havaintoetäisyys (m)

E = kynnysvalaistusvoimakkuus (lx)

Tavoitteena on saada alempi ja ylempi loisto näyttämään yhtä kirkkailta kaukopisteestä katsottuna.

Valolaitteiden valinnassa tulee lisäksi ottaa huomioon mm. valotunnus, valon väri, riittävä vaakakulma (arvioidaan samalla tavalla kuin näkösektori maastotutkimuksessa) sekä energiankulutus.

### 2.3.1 Yö-valot

Aloitetaan laskemalla alemman loiston valovoimat yhtälöllä (2.3:1):

- Minimivalovoima, kun  $E = 1 \times 10^{-6}$  lx ja d = kaukoetäisyys ( $d_K$ )
- Maksimivalovoima, kun  $E = 1,0$  lx ja d = lähietäisyys ( $d_L$ )

Valitaan alempaan loistoon valolaitte, jonka tehollinen valovoima osuu näiden kahden ääriarvon väliin. Ratkaistaan yhtälön (2.3:2) avulla alemman loiston E-arvo kaukopisteessä ( $E_1$ ) valitulla valolaitteella.

Lasketaan seuraavaksi ylemmän loiston valovoimat yhtälöllä (2.3:1):

- Valovoima, kun  $E = E_1$  ja  $d = \text{kaukoetäisyys } (d_K) + \text{loistojen välinen etäisyys } (d_R)$
- Maksimivalovoima, kun  $E = 1,0 \text{ lx}$  ja  $d = \text{lähietäisyys } (d_L) + \text{merkkien välinen etäisyys } (d_R)$

Valitaan ylempään loistoon valolaitte, jonka valovoima on mahdollisimman lähellä laskettua arvoa ja joka tapauksessa pienempi kuin maksimivalovoima. Ratkaistaan lopuksi yhtälön (2.3:2) avulla ylemmän loiston E-arvo kaukopisteessä ( $E_2$ ) valitulla valolaitteella.

### Taustavalaistus

Taustavalaistus on otettava huomioon valovoimia määritettäessä, sillä se vaikeuttaa huomattavasti linjavalojen havainnointia yöllä. Taustavalaistuksen voimakkuudesta riippuen, käytetään valovoimien laskennassa taulukon 2.3:1 mukaisia kynnysvalaistusvoimakkuuden kertoimia.

*Taulukko 2.3:1 Taustavalaistuksen voimakkuudesta riippuvat kynnysvalaistusvoimakkuuden kertoimet yö-valoille*

Taustavalon voimakkuus	Kerroin	Kynnysvalaistusvoimakkuus $E (10^{-6} \text{ lx})$	Kuvaus
Ei taustavaloa	1	1	Taustalla vain muita valaistuja turvalaitteita tai ei ollenkaan valoja
Vähäinen / kohtalainen taustavalo	2	2	Harvassa olevia ja/tai himmeitä valoja. Esim. asuinalue tms.
Voimakas taustavalo	10	10	Paljon (satoja) ja/tai kirkkaita valoja. Esim. kaupunki, pysäköintialue, valtatie, tehdas, suuri satama tai teollisuusalue

Tarpeen mukaan voidaan käyttää suurempiakin kertoimia. IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities) suosittelee vähäiselle taustavalolle kerrointa 10 ja voimakkaalle kerrointa 100. Näin suuria kertoimia voidaan käyttää vain melko lyhyillä linjoilla. Lisäksi pitää ottaa huomioon häikäisyn mahdollisuus.

### 2.3.2 Päiväloistot

Aloitetaan laskemalla alemman loiston valovoima yhtälöllä (2.3:1):

- Minimivalovoima, kun  $E = 1 \times 10^{-3} \text{ lx}$  ja  $d = \text{kaukoetäisyys } (d_K)$

Valitaan alempaan loistoon valolaitte, jonka tehollinen valovoima on vähintään minimivalovoiman suuruinen. Ratkaistaan yhtälön (2.3:2) avulla alemman loiston E-arvo kaukopisteessä ( $E_1$ ) valitulla valolaitteella.

Lasketaan seuraavaksi ylemmän loiston valovoima yhtälöllä (2.3:1):

- Valovoima, kun  $E = E_1$  ja  $d = \text{kaukoetäisyys } (d_K) + \text{merkkien välinen etäisyys } (d_R)$

Valitaan ylempään loistoon valolaite, jonka valovoima on mahdollisimman lähellä laskettua arvoa. Ratkaistaan lopuksi yhtälön (2.3:2) avulla ylemmän loiston E-arvo kaukopisteessä ( $E_2$ ) valitulla valolaitteella.

Koska päiväloiston valovoima on paljon yö-valoa suurempi, joudutaan häikäisyn välttämiseksi käyttämään järjestelmää, jossa valoteho muuttuu automaattisesti päivä- ja yö-tilojen välillä.

### **Ilmatieteelliset olosuhteet**

Ilmatieteelliset olosuhteet ja mm. linjan ilmansuunta voivat vaikuttaa huomattavasti päivävalojen havainnointiin. Taulukon 2.3:2 kynnysvalaistusvoimakkuusarvojen avulla voidaan arvioida päivävalojen kantomatkoja eri olosuhteissa. Mitoituksessa ei tule käyttää pienempiä arvoja kuin  $E = 1 \times 10^{-3} \text{ lx}$ . Tarvittaessa voidaan valita suurempi arvo näkyvyyden varmistamiseksi.

*Taulukko 2.3:2 Päivävalojen kynnysvalaistusvoimakkuuksia eri olosuhteissa*

Ilmatieteelliset olosuhteet	Taustaluminanssi ( $\text{cd/m}^2$ )	Kynnysvalaistusvoimakkuus E ( $10^{-3} \text{ lx}$ )
Hyvin tumma pilvinen taivas*	100	0,013
Tumma pilvinen taivas*	200	0,024
Tavanomainen pilvinen taivas*	1000	0,107
Kirkas pilvinen taivas* tai selkeä taivas poispäin auringon suunnasta	5000	0,506
Kirkas pilvi (auringon valaisema) tai selkeä taivas lähellä auringon suuntaa	10 000	1
Erittäin kirkas pilvi	20 000	1,98
Häihäisevän kirkas pilvi	50 000	4,91

\*) Taivas on lähes kokonaan tai kokonaan pilvien peitossa (90–100%), yksittäisiä pilviä ei yleensä ole näkyvissä (overcast sky)

## 2.4 Heijastimet

Heijastimia käytetään valojen vaihtoehtoina vene- ja muilla vähemmän merkityksellisillä väylillä. Niillä on merkitystä myös valaistuilla väylillä esimerkiksi valolaitteiden sattuessa. Linja toimii edelleen, jos käyttäjällä on valonheitin käytettävissään. Veneessä on ajateltu olevan valovoimaltaan noin 10000 cd ja aluksissa noin 100000 cd valonheittimet.

Heijastimen minimipinta-ala saadaan yhtälöstä:

$$A = \frac{Ed^4}{IR \times 0,0518520} \quad (2.4:1)$$

Kynnysvalaistusvoimakkuuden suhteen ratkaistussa muodossa:

$$E = \frac{AIR \times 0,0518520}{d^4} \quad (2.4:2)$$

joissa

A = heijastimen pinta-ala (m<sup>2</sup>)

E = kynnysvalaistusvoimakkuus (lx)

d = havaintoetäisyys (m)

I = valaisimen valovoima (cd)

R = heijastinkalvon ominaisheijastusarvo (lx/m<sup>2</sup>/cd)

Periaatteessa laskenta tehdään kuten valoilla, mutta koska ongelmana on lähinnä saada tarpeeksi voimakas heijastus, ei maksimiarvoja tarvitse laskea. Heijastinkalvo sijoitetaan niin, että se peittää 3/4 keskikaistasta, joten sen pinta-ala on neljäsosa koko taulun pinta-alasta. Alemman merkin heijastinkalvo alkaa taulun alareunasta ja ylemmässä taulun yläreunasta (jotta heijastimet eivät sulaisi yhteen vaikeuttaen linjalla ajamista). Heijastus heikkenee hyvin nopeasti etäisyyden kasvaessa. Maksimietäisyys on suurillakin valovoimilla ja heijastimilla n. 4000 m kohdalla, mutta käytännössä etäisyydet ovat 0...2500 m. Heijastinkalvon väri on aina valkoinen. Kun heijastinalat on määrätty, ratkaistaan yhtälöllä (2.4:2) lopulliset E-arvot kummallekin merkille.

## 2.5 Minimipystykulman määrittäminen

Sekä valoille että heijastimille on laskettava minimipystykulma kaukopisteessä. Pystykulman tulee olla vähintään minimipystykulman suuruinen, jotta vältetään valojen yhteensulautuminen.

$$\gamma_m = [2,4 - 0,06|\log(E_2/E_1)| + 0,26|\log(E_2/E_1)|^2 + \log E^+ (0,2 - 0,02|\log(E_2/E_1)| - 0,02|\log(E_2/E_1)|^2)] \times 10^{-3} \quad (2.5:1)$$

jossa

$\gamma_m$  = minimipystykulma (rad)

$E_2$  = ylemmän loiston valaistusvoimakkuus kaukopisteessä (lx)

$E_1$  = alemman loiston valaistusvoimakkuus kaukopisteessä (lx)

$E^+$  =  $E_1$  tai  $E_2$ :stä valitaan suurempi arvo (lx)

Mikäli tulos on alle 1,50 mrad valitaan tulokseksi  $\gamma_m = 1,5$  mrad.

## 2.6 Muita lähtöarvoja ja reunaehtoja

Seuraavassa on lueteltu muita sovittuja lähtöarvoja ja reunaehtoja:

- Taulun alareunan etäisyyden maahan tulee olla vähintään 1,0 m, jotta kinostuva lumi, pensaat ym. eivät peitä taulua liian helposti
- Alemman valon etäisyys maahan tulee olla vähintään 3,5 m (meriväylät) tai 2,5 m (sisävesiväylät). Korkeuden tulisi kuitenkin olla mahdollisimman pieni, sillä se kertaantuu ylätaulussa
- Alemman valon ei tule olla korkeammalla kuin 0,5 m taulun yläreunasta tai taulun alareunan alapuolella
- Ylempi valo on tavallisesti 0,5 m taulun yläreunan yläpuolella, mutta se voi sijaita alempanakin, ei kuitenkaan taulun alareunan alapuolella
- Ylätaulusta näkyy vähintään 3 m (jos taulu on korkeudeltaan pienempi kuin 3 m valitaan taulun korkeus) tai 66 % (valitaan arvoista pienempi) alataulun takaa linjan lähipisteessä
- Taulujen välinen pystykulma kaukopisteessä ( $\gamma_{PK}$ ) on vähintään 0,2 mrad mutta enintään 1,0 mrad
- Pituudeltaan yli 12000 m linjoja ei yleensä kannata tehdä, vaan on harkittava muita vaihtoehtoja
- K-arvo asetetaan, jos mahdollista, välille 1,5...4,5
- Alataulu näkyy kokonaan etu- ja välimaaston yläpuolella sekä kauko- että lähipisteessä
- Ylätaulu näkyy kokonaan etu- ja välimaaston yläpuolella kaukopisteessä. Lähipisteessä ylätaulusta tulee näkyä saman verran kuin alataulun takaa
- Ylätaulu asetetaan niin, että siitä näkyy vähintään puolet taustamaaston yläpuolella kaukopisteessä
- Näköesteet on huomioitava myös väylän osalle tultaessa, jotta linjalle turvallisesti kääntyminen on mahdollista
- Merialueilla huomioidaan enintään 4 m ja sisävesialueilla 1 m korkuiset aallot näköesteinä
- Satamalinjoja rakennettaessa on huomioitava myös satamassa kiinnitettyinä olevien alusten näköestevaikutus. Näköeste voi olla myös ylätaulun takana. Ylätaulusta pitää näkyä vähintään puolet esteen tai metsän yläpuolella
- Mikäli kaukoetäisyys on alle 50 m, asetetaan kaukoetäisyys = 50 m
- Maantieteellinen kantomatka on geometrisistä suureista, eli kohteen korkeudesta  $H$ , maapallon kaarevuudesta ja katselukorkeudesta  $H_K$  määräytyvä teoreettinen kantomatka, joka saadaan metreinä yhtälöstä:

$$3849(\sqrt{H_K} + \sqrt{H}) \quad (2.6:1)$$

Alataulun alareunan minimikorkeudella 1 m, taulu alkaa jäädä horisontin alapuolelle n. 9300 m etäisyydellä katselukorkeuden ollessa 2 m ja 12400 m etäisyydellä katselukorkeuden ollessa 5 m. Tätä pidemmällä linjoilla alataulua pitää alkaa nostamaan minimiarvoa ylemmäksi

- Valaisemattomiin päivälinjoihin sovelletaan samoja reunaehtoja ja laskentaperusteita, mutta valoja ja heijastimia ei tarvitse ottaa huomioon



## 2.7 Kulmien ja korkeuksien laskeminen

Kaikki korkeudet ja pystykulmat lasketaan samalla yhtälöllä muunnettuna kolmeen eri muotoon. Sitä sovelletaan sekä valojen että taulujen ylä- ja alareunojen laskemiseen.

Lähimmän kohteen korkeus etäisyyksien ja etäisemmän kohteen korkeuden funktiona:

$$H_1 = \frac{(d_1 + d_2)(-d_1 \gamma - d_1 d_2 \times 6,75 \times 10^{-8}) + d_1 H_2 + H_K d_2}{d_1 + d_2} \quad (2.7:1)$$

Etäisemmän kohteen korkeus etäisyyksien ja lähemmän kohteen korkeuden funktiona:

$$H_2 = (d_1 + d_2)\left(\gamma + \frac{H_1 - H_K}{d_1} + 6,75 \times 10^{-8} \times d_2\right) + H_K \quad (2.7:2)$$

Pystykulma:

$$\gamma = \frac{H_2 - H_K}{d_1 + d_2} - \frac{H_1 - H_K}{d_1} - 6,75 \times 10^{-8} \times d_2 \quad (2.7:3)$$

joissa

$d_1$  = havaintoetäisyys lähimpään kohteeseen (m)

$d_2$  = etäisyys kohteiden välillä (m)

$H_1$  = lähimmän kohteen korkeus (m)

$H_2$  = etäisemmän kohteen korkeus (m)

$\gamma$  = pystykulma (rad)

$H_K$  = katselukorkeus (m)

## 2.8 Lopullinen optimointi

Kun on määrätty katselukorkeus ja laskettu taulujen koot, valovoimat, heijastinalat sekä minimikulma, laskentaa jatketaan optimoinnilla.

Aluksi määritetään mastojen minimikorkeudet, yleensä taulun korkeus + 1 m, sekä alavalon minimikorkeus 3,5 tai 2,5 m (ks. edellä, kumpi). Minimikorkeuteen huomioidaan nyt myös maasto ja reunaehdot yhtälöillä (2.7:1) ja (2.7:2).

Varsinainen optimointi aloitetaan varmistamalla, että alataulun alareuna näkyy horisontin yläpuolella. Alareunaa nostetaan tarvittaessa. Tässä vaiheessa huomioidaan myös mahdolliset aallot niin, että alataulun alareuna näkyy aalloista huolimatta aina kaukoetäisyydellä (2.7:1).

Seuraavaksi määritellään ylemmän lyhdyn asennuskorkeus, jotta minimipystykulma saavutetaan (2.7:2).

Tämän jälkeen tarkastetaan, että ylätaulu näkyy annetulla asetusarvolla (2.7:2). Mikäli ehtoja ei voida täyttää taulua nostamatta, taulua nostetaan. Alavalon uusi korkeus (2.7:1) määritellään ottaen huomioon reunaehdot. Mikäli ylempi taulu on jo huomattavan korkealla maaston tms. syiden takia, korotetaan alataulua ja vastaavasti alavaloa niin, että reunaehdot täyttyvät (2.7:1). Eteen saattaa tulla tapauksia, joissa maaston korkeuserot ovat suuret ja lähietäisyys pieni. Silloin taulujen välinen kulma kaukopisteessä tulee huomattavan suureksi (2.7:3). Tämä korjataan pidentämällä ylätaulua alaspäin niin paljon, että taulujen välinen kulma kaukopisteessä on  $<1$  mrad.

Optimointivaihe saattaa vaatia useita laskentakierroksia ennen kuin tyydyttävä kompromissi löytyy. Erityisen työläitä ovat satamalinjat.

### 3 Tarkistuslaskenta

Kohdan 2 ratkaisulle lasketaan turvaetäisyys vaarallisimmasta karista sekä K-arvo.

Ensin lasketaan turvakulma yhtälöstä:

Jos  $\gamma_Y \leq 5,0 \times 10^{-3}$  rad:

$$\Theta'_1 = 0,16 \times 10^{-3} + 0,12\gamma_Y \quad (3:1)$$

Jos  $5,0 \times 10^{-3} \leq \gamma_Y \leq 20,0 \times 10^{-3}$  rad:

$$\Theta'_1 = 0,31 \times 10^{-3} + 0,09\gamma_Y \quad (3:2)$$

$$\Theta'_2 = 0,35\gamma_Y \quad (3:3)$$

jossa

$\gamma_Y$  = valojen pystyikulma vaarallisimman karin kohdalla (yhtälöllä 2.7:3) (rad)

$\Theta_D, \Theta'_1, \Theta'_2$  = turvakulma (rad)

Lopullinen turvakulma  $\Theta_D$  on kulmista  $\Theta'_1$  ja  $\Theta'_2$  suurempi.

Turvaetäisyys, eli jäljellä oleva sivuetäisyys vaarallisimpaan kariin, kun huomataan, että linja on "auki" (valot eivät näytä olevan linjassa) saadaan yhtälöstä:

$$S = Y - \Theta_D \times d_Y \times (1 + d_Y/d_R) \quad (3:4)$$

jossa

$S$  = turvaetäisyys (m)

$Y$  = etäisyys väylän keskiviivasta vaarallisimpaan kariin (m)

$\Theta_D$  = turvakulma (rad)

$d_Y$  = etäisyys alemmasta merkistä vaarallisimpaan kariin (m)

$d_R$  = merkkien välinen etäisyys (m)

Turvaetäisyyden laatua arvioidaan siten, että laivan sivun ja karin väliin täytyy jäädä esim. vähintään 0,5...2,0 laivan leveyttä, ottaen huomioon, että havainnoitsija seisoo keskellä alusta. Mikäli turvaetäisyys jää liian pieneksi, linjaa voidaan olennaisesti parantaa vain merkkien välistä etäisyyttä kasvattamalla tai poistamalla vaarallinen kari.

K-arvo on luku, tai oikeastaan laatutekijä, joka osoittaa minkälainen linjan herkkyys on suhteessa väylän leveyteen. Se lasketaan yhtälöstä:

$$K = (\Theta_D/\gamma_Y)/((Y - S)/(2Y)) \quad (3:5)$$

jossa

$K$  = K-arvo

$\Theta_D$  = turvakulma (rad)

$\gamma_Y$  = valojen pystyikulma vaarallisimman karin kohdalla (yhtälö 2.7:3) (rad)

$S$  = turvaetäisyys (m)

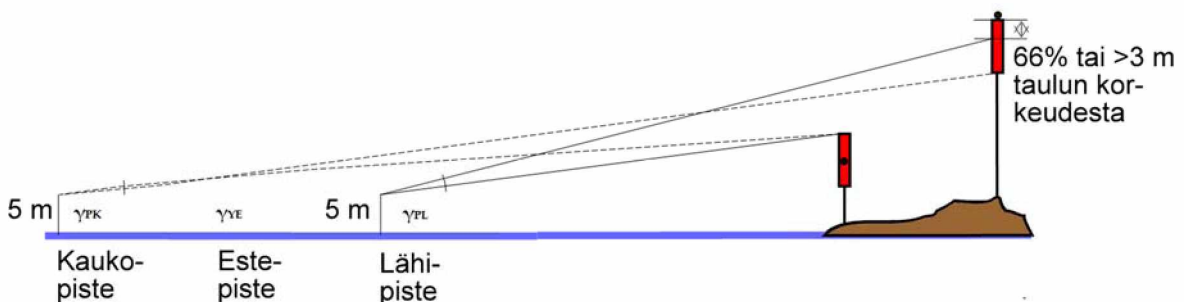
$Y$  = etäisyys väylän keskiviivasta vaarallisimpaan kariin (m)

Jos K-arvo on alle 1,5, linja, on liian "laiska" ja jos se on yli 4,5, on linja liian "herkkä" suhteessa väylän leveyteen. Tavoitteena on, että luku saadaan näiden arvojen väliin. Tämä tapahtuu lähinnä säätämällä merkkien välistä etäisyyttä. Maantieteellisten rajoitusten takia loistojen siirtäminen ei aina onnistu ja joudutaan tyytymään huonompaan K-arvoon. Alle 1,5 K-arvot muodostavat turvallisuusriskin.

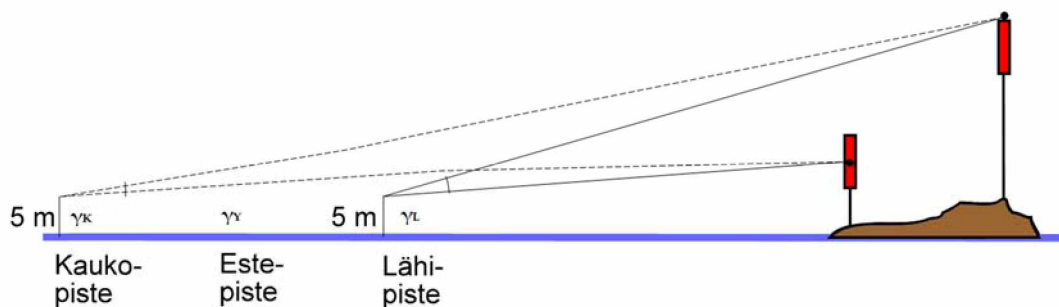
Lopuksi lasketaan vielä yhtälöstä 2.7:3 seuraavat pystykulmat tarkistuksen vuoksi:

- $\gamma_H$ , eli kulma alataulun alareunan ja horisontin välillä kaukopisteestä katsottuna (tulee olla  $>0$  mrad)
- $\gamma_K$ , eli valojen välinen kulma kaukopisteestä katsottuna (tulee olla  $>1,5$  mrad)
- $\gamma_Y$ , eli valojen välinen kulma karin kohdalta katsottuna (tulee olla  $>1,5$  mrad)
- $\gamma_L$ , eli valojen välinen kulma lähipisteestä katsottuna (tulee olla  $>0,75$  mrad)
- $\gamma_{PL}$ , eli alataulun yläreunan ja ylätaulun sen kohdan, joka on 3 m tai 66 % yläreunasta (pienempi arvo valitaan), välinen kulma lähipisteestä katsottuna tulee olla  $>0$  mrad)
- $\gamma_{PK}$ , alataulun yläreunan ja ylätaulun alareunan välinen kulma kaukopisteestä katsottuna (tulee olla pienempi kuin 1,0 mrad mutta suurempi kuin 0,2 mrad)

Piirroksissa 3:1 ja 3:2 nähdään em. kulmat graafisessa muodossa sekä taulujen että valojen osalta. Karin kohdalla tähtäysviivat on selvyyden vuoksi jätetty pois. Ne ovat samanlaiset kuin kaukopisteestä katsottuna, mutta vedettynä estepisteestä.



Kuva 3:1 Päivämerkkien profilikuva



Kuva 3:2 Linjaloistojen profilikuva

## 4 Rakentajan tarvitsemat tiedot

Merkkien rakentamisessa tarvitaan seuraavat arvot ja tiedot:

- Taulujen koot
- Mastojen korkeudet maasta ja merenpinnasta
- Valojen korkeudet maasta ja merenpinnasta
- Rakentamispaidan korkeus merenpinnasta
- Heijastuspinnan koko
- Selvitys mahdollisesti kaadettavista puista
- Rakentamispaidan maan laatu
- Maanomistusselvitys sekä mahdollisesti esisopimus maan vuokraamisesta turvalaitekäyttöön
- Alustavat koordinaatit sekä merkityn pisteen selostus

## 5 Tietokonelaskenta

Linjalaskentaan on saatavissa ainakin seuraavat valmiit sovellukset:

- Linjalaskentaohjelma versio 1.1 (Liikennevirasto 2010). Ohjelma on tehty Java-kielellä.
- Linjalaskenta versio 8.0 (Merenkululaitos 2003). Ohjelma on tehty Visual Basicilla ja toimii vain Windows ympäristössä.
- IALA:n dokumentin "IALA Guideline 1023 For the Design of Leading Lines Edition 1.1 December 2005" liitteenä saatava Excel-laskentataulukko.

Ohjelmien laskentatavoissa on joitakin eroja ja saadut tulokset eivät ole kaikilta osin yhtenäisiä. Ohjelmien käyttö edellyttää tietoja linjoista ja niiden toimintaperiaatteiden ymmärtämistä.



## Kirjallisuus

Merenkulkulaitos, Rolf Bäckström. 30.11.1998. Linjalaskennan perusteet

IALA Guideline 1023 The Design Of Leading Lines Edition 1.1 December 2005

IALA Recommendation E-112 On Leading Lights Edition 1.1 December 2005  
Edition 1 May 1998

IALA. The E-200 series of Recommendations on Marine Signal Lights, parts 0-5

Merenkulkulaitos. 5.12.2007. Turvalaitemääritelmät 3.0.

IALA Recommendations for the surface colours used as visual signals on aids to navigation May 1980

IALA Recommendation for leading lights May 1977

IALA. Sensitivity of daytime leading lines. Report from IALA Stocholm conference 5.2.3

IALA. Sensitivity on leading lights for vertical angular separations of from 5 to 20 milliradians. Report from IALA Stocholm conference 1970. 5.2.4

IALA. Couleur, forme et porte de jour. Repot from IALA Stockholm conference 1970 5.2.2

IALA. Daymarks as aids to marine navigation. IALA Bulletin no 47, April 1971

IALA. The IALA Maritime Buoyage System guidelines.

US Coast Guard. 30 Sep 1980. RANGE DESIGN, COMDTINST M16500.4 (julkaisematon työ päivämerkkien ja kirjainmerkkien näkyvyydestä päivällä).

US Coast Guard. June 3 1997. RANGE DESING MANUAL, COMDT Manual CIM 16500.4B





